

А.О. Семенов, Г.М. Кожушко, Т.В. Сахно

Полтавський університет економіки і торгівлі, Україна

БАКТЕРИЦИДНЕ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ В БАСЕЙНАХ КОМПЛЕКСНОЮ ДІЄЮ ОЗОНУ ТА УФ-ОПРОМІНЕННЯМ

В роботі проведений аналіз бактерицидного знезараження води в басейнах з використанням різних технологій. Показані переваги та недоліки комплексного використання ультрафіолетового випромінювання та озону. Описується конструкція та результати випробувань установки бактерицидного знезараження води в басейні з використанням ультрафіолету та озону, що утворюється в опромінювальній установці, як «побічний» продукт.

Ключові слова: ультрафіолетове випромінювання, озон, бактерицидне знезараження, вода, басейн.

Постановка проблеми

Сьогодні будівництво басейнів є невід'ємною частиною соціальних програм розвитку інфраструктури міст і населених пунктів. Вони передбачаються в проектах сучасних медичних центрів, лікарень, санаторіїв, дитячих дошкільних закладів, шкіл та інших об'єктів. Для значної частини населення користування басейнами стає нормою і показником здорового способу життя.

Вода басейнів безпосередньо впливає на здоров'я відвідувачів. Але поряд з оздоровчими ефектами існує можливість шкідливого впливу води в басейні на організм людини, зокрема подразнюючої дії хімічних домішок в воді на шкіру та слизові оболонки, інтоксикації при попаданні шкідливих речовин в дихальні шляхи та при випадковому попаданні води в шлунково-кишковий тракт. Існує також вірогідність зараження захворюваннями інфекційної природи, які можуть передаватись через воду басейнів для плавання та купання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Експлуатація басейнів потребує проведення комплексу заходів по фільтруванню та дезінфекції води. Вимоги до якості води в басейнах для плавання та купання встановлені в [1, 2, 3, 4, 5]. Надзвичайно актуальною задачею при дезінфекції води є застосування технологій, що не приводять до утворення в процесі знезараження токсичних сполук, при цьому повністю знищуючи патогенну мікрофлору і не впливають на здоров'я людей. Мікробіологічні показники води повинні забезпечувати неможливість передачі через воду небезпечних кишечник захворювань, а також аденовірусних інфекцій, корості, кон'юнктивітів, отитів, синуситів, вірусних гепатитів, дизентерії.

Для забезпечення відповідності основних показників води вимогам санітарних норм необхідно або забезпечити постійну заміну воду в ванні басейну, тобто створити систему проточного водозабезпечення басейну водою питної якості [6, 7], або створити систему циркуляційного водозабезпечення з очисткою і знезараженням води. З точки зору санітарної безпеки більш прийнятною є система проточного водозабезпечення, однак вона потребує великих витрат води і енергоресурсів. З економічної точки зору більш прийнятною є циркуляційна система при якій проходить постійна чистка води, що знаходиться в басейні.

У відповідності з вимогами нормативних документів і практичного досвіду для забезпечення необхідного рівня очистки і знезараження води, необхідно протягом доби забезпечити не менш як чотирихкратно циркуляцію всього обсягу води в басейні через систему очистки і знезараження [8]. В [9] рекомендується повний водообмін для спортивних басейнів не більше 8 годин, для оздоровчих – не більше 6 годин, для дітей старше 7 років - 2 години, а для дітей до 7 років – 0,5 години.

Навіть при наповненні басейну питною водою, що повністю відповідає вимогам при відсутності відповідної підготовки поверхні води в басейні через 2-3 дні покривається плівкою, а на стінках появляється слизь. Далі вода набуває зеленого відтінку, якого їй надає наявність водорості, і з'являється неприємний запах. Одна людина, навіть після попереднього прийняття душу, заносить в басейн до 50 тисяч мікроорганізмів [10]. В басейн можуть попадати шкідливі та небезпечні неорганічні та органічні речовини, які не тільки забруднюють воду але можуть призвести до захворювання. Для того, щоб вода, яка знаходиться в басейні відповідала необхідним параметрам, вона має проходити підготовку, що обов'язково містить: підігрівання води, рецирку-

ляцію, механічну очистку та знезараження (дезінфекцію).

Знезараження – це знищення забрудників та продуктів життєдіяльності мікроорганізмів, водорості, бактерій, вірусів, потожирових виділень. Для цього застосовуються різні технології та методи, що поділяються за способом дії на мікроорганізми [8, 11, 12, 13]:

- реагентні методи – дезінфекція досягається шляхом внесення в воду біологічно активних хімічних сполук (хлорування, бромовання, озонування, використання кисневовміщуючих реагентів, комбінованих препаратів типу хлор+кисень та інш.);
- безреагентні методи – оброблення води фізичним впливом (висока температура, ультрафіолет та інш.);
- комбіновані методи – комбінація реагентних і безреагентних методів.

Сьогодні найбільш широкого застосування знаходять комбіновані методи [14]: УФ-опромінення в поєднанні з хлоруванням та УФ-опромінення в поєднанні з озонуванням [6, 15, 16, 17]. Застосування комбінованих методів дезінфекції води в басейнах визвано необхідністю зменшення застосування реагентів, перш за все хлору, який утворює продукти з органічними та неорганічними домішками, що вносяться в воду відвідувачами басейнів, та що знаходяться в складі води. Утворення побічних продуктів пов'язано з високою реакційною здатністю галогенів (хлору і броду), активно вступаючи в реакцію з домішками в воді вони утворюють вторинні галогеноорганічні сполуки. Це відноситься і до озону, який також здатний утворювати вторинні продукти реакції. В басейні вода має постійне надходження органічних речовин, які вносяться купальниками і є джерелом побічних продуктів дезінфекції, що ускладнює процес дезінфекції і забезпечення токсикологічної безпеки води в басейні.

На сьогодні відомо більше сотні різних продуктів дезінфекції в басейнах для плавання [18]. Одні з найбільш відомих – це тригалометани. До цього класу входять такі сполуки як хлороформ, бромформ, бромдихлорметан та інш. Органічні домішки, що вносяться купальниками в воду басейну вміщують токсини з високим рівнем азоту, а це призводить до утворення великої кількості нітросполук, зокрема нітросоамінів. N-нітросоаміни – надзвичайно токсичні сполуки, що спричиняють мутагенний та канцерогенний ефект навіть при низьких концентраціях. Їх допустима концентрація складає $7 \cdot 10^{-5}$ мг/л. (дані національного стандарту якості питної води США).

Хлорування води з високим вмістом сполук броду та йоду призводить до високого вмісту бромта йодвмісних побічних продуктів, які як правило більш цитотоксичні і мутагенні, ніж хлорвміщуючі.

Так як багато із побічних продуктів є летучими і легко випаровуються із води, вони через шкіру і легені попадають в організм людини. Окремі сполуки здатні визивати мутагенну і канцерогенну дію [16].

Оцінка небезпечності деяких сполук, що утворюються при хлоруванні води в басейнах та розрахунковий прогноз їх токсичності наведений в [16]. Серед проблем пов'язаних з потенційною небезпечкою для здоров'я людей побічних продуктів дезінфекції є їх видалення. З технологічної точки зору знизити концентрацію і видалити уже утворені токсичні побічні продукти можна шляхом окислення з наступною повною або частковою деструкцією токсичних молекул. Ефективні технології окислення базуються на використанні ОН радикалів. Технології, що використовуються в окислювальних процесах відрізняються за способами отримання ОН радикалів в воді. Найбільш розповсюдженими методами отримання ОН радикалів для знезараження води є:

- використання реакції взаємодії озону і УФ-випромінення (озон/УФ);
- використання реакцій пероксиду водню (H_2O_2) і озону;
- використання реакцій взаємодії пероксиду водню і УФ-випромінення (H_2O_2 /УФ).

Незважаючи, на те, що хлорування досі є самим поширеним методом знезараження води, його використання постійно скорочується через недостатню ефективність існуючих схем хлорування по відношенню до ентеровірусів і найпростіших, утворенню небезпечних для здоров'я побічних продуктів, зокрема хлорамінів, галогеновмісних сполук та нітросоамінів, а також погіршення органолептичних показників вод і негативного впливу хлору на слизові оболонки та дихальні шляхи.

Альтернативою хлору як дезінфектанту може бути озон. Озонування води – один із ефективних методів знезараження води киснем, він не тільки надає бактерицидну дію на патогенну мікрофлору, але і здатний руйнувати багато присутніх у воді хімічних речовин: відбувається деструкція високомолекулярних органічних з'єднань, усунення присмаку і запахів.

Метод озонування може застосовуватися як на всіх, так і на окремих етапах попередньої, проміжної і фінішної обробки води, але тільки в тому випадку, коли інші, більш прості і дешеві технології не можуть вирішити поставленого завдання. Це досить дорога і складна технологія. Особливо затратною є стаття електроенергії.

Особливістю озону є легкість його розпаду з утворенням атомарного кисню – одного з найбільш сильних окислювачів. Атомарний кисень знищує бактерії, спори, віруси, руйнує розчинені у воді органічні речовини. Це дозволяє використовувати

озон не тільки для знезараження, але і для видалення токсичних органічних речовин, тобто для дезодорації води. При озонуванні мінеральний склад, рН і лужність води залишаються без змін [19].

Знезаражуюча дія озону в 15-20 разів ефективніша за дію хлору, а на спорові форми бактерій приблизно в 300-600 разів [20].

Переваги озону перед хлором при знезараженні води полягають у тому, що озон покращує органолептичні властивості води і забезпечує бактерицидний ефект при меншому часі контактування, проте, на відміну від хлору він має не тривалу післядію.

Озонування поширене в багатьох індустріально розвинених країнах США, Франція, Японія, Фінляндія, Німеччина. Найчастіше застосовується первинне озонування в невеликих дозах (1,5-2,0 мг/л), що дозволяє для досягнення високих результатів з водопідготовки комбінувати з іншими технологіями, в тому числі з УФ-знезараженням [21, 22].

УФ не створює побічних продуктів дезінфекції, його доза може бути збільшена до значення, що забезпечують епідеміологічну безпеку як по бактеріях так і по вірусах [23]. Вплив УФ на віруси значно сильніший, ніж в разі використання хлору. Економічно цей вид знезараження досить ефективний, але одним із недоліків, який не дозволяє ефективно використовувати для знезараження води в басейні є відсутність післядії випромінювання.

Постановка завдання

Метою даної роботи є розроблення та дослідження ефективності системи бактерицидної очистки води для басейнів невеликих об'ємів з використанням озону і УФ-опромінення води (без використання хлорвмісних реагентів).

Однією із задач було дослідження можливості бактерицидного знезараження води в басейнах комплексною дією УФ-опромінення та озону без застосування додаткового озонатора, а з використанням озону, що утворюється за рахунок короткохвильового УФ-випромінювання ламп.

Виклад основного матеріалу

Конструкції розрядних ламп низького тиску, колби яких виготовлені з кварцового скла прозорого для довжини хвилі 185 нм, створюють ультрафіолетовий потік, що становить приблизно 15-20% від УФ-потіку лінії з довжиною хвилі 253,7 нм [24]. За даними [25] УФ-лампа потужністю 80 Вт за годину випромінює енергію достатню для утворення в пові-

трі озону в кількості, приблизно 0,8 г/год. Цей озон є «побічним» продуктом при генеруванні УФ-випромінювання і його можна використати для озонування води при технологіях УФ-знезараження без додаткових витрат.

Для перевірки гіпотези про можливість реалізації технології УФ знезараження води в басейнах невеликих об'ємів (до 100 м³) з використанням озону, що утворюється за рахунок короткохвильового випромінювання ламп нами розроблена конструкція установки, яка зображена на рисунку. Установка являє собою циліндричну камеру з внутрішнім діаметром 90мм та довжиною 950мм, в якій УФ-лампа в кварцовому чохлі розташована по осі камери. Діаметр лампи 19 мм, діаметр чохла 30 мм, товщина стінки 1,2 мм. При такій конструкції через шар води, що циркулює через камеру, проходить майже весь УФ-потік. Озон, що утворюється в повітряному просторі між лампою і стінками кварцового чохла, подається в воду за допомогою ежектора. Об'єм повітря, що проходить через камеру становить 240 л/годину. Розрахунок дози УФ-С випромінювання здійснювали з використанням рекомендацій [26, 27].

При розрахунках брали до уваги поглинання УФ-С в кварцовому чохлі, зниження виходу випромінювання при нагріванні лампи, прозорість води в УФ діапазоні, коефіцієнт запасу 1,5 для компенсації зниження виходу УФ-випромінювання в процесі строку служби та при зниженні (в межах допусків) напруги живлення. Дана установка забезпечує дозу опромінення води не меншу як 25 Дж/м² і додаткове озонування із кількістю озону приблизно 0,1 г/м³ води. Залишкова концентрація озону, що потрапляє з водою в басейн після УФ-опромінення не перевищує 0,015мг/л (при нормі не більше 0,02 мг/л).

Дослідження ефективності бактерицидного знезараження води з використанням установки даної конструкції проводили в басейні об'ємом 75 м³.

Для забезпечення циркуляції води не менше ніж 4-кратного обміну за добу було встановлено дві установки продуктивністю по 8 м³/год. Для установки продуктивністю 8 м³/год застосовували лампи типу ZW80D19Y, параметри яких наведені в табл.1.

Вимірювання мікробіологічних параметрів води на відповідність вимогам [1, 6, 9] проводили в атестованій мікробіологічній лабораторії. Значення отриманих результатів бактеріологічних досліджень води в басейні при різних режимах роботи установок зведені в табл. 2.

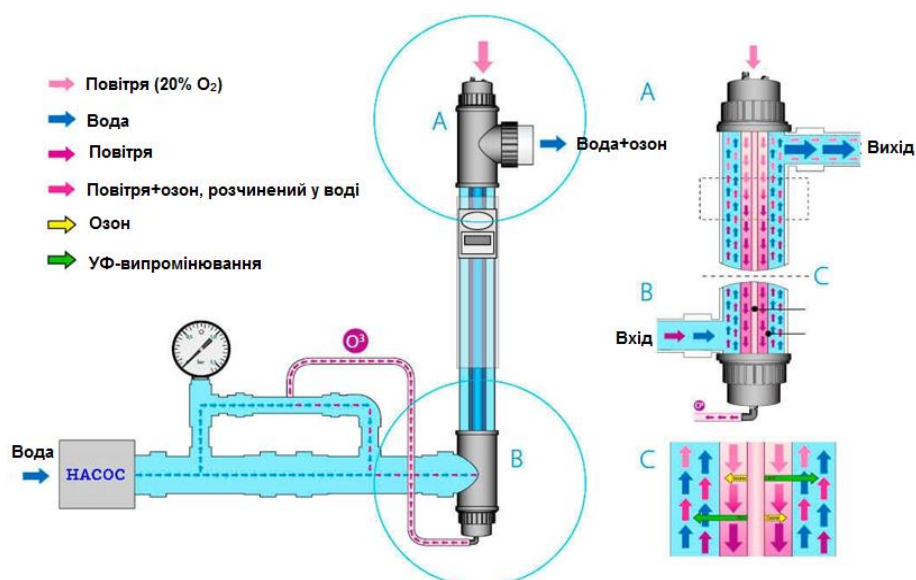


Рис.1. Конструкція установки для УФ-знезараження води в басейнах з використанням озону

Таблиця 1

Характеристики ламп Jiangyin Feiyang Instrument Co.

Тип лампи	P, Вт	I, mA	U, В	Енергетична освітленість УФ-С на відстані 1 м, Вт/см ²	Геометричні розміри (довжина, діаметр), мм
ZW80D19Y	80	800-1200	120	240-270	846x19

Таблиця 2

Результати бактеріологічних досліджень води в басейні

Найменування показника	Вимоги згідно ДСанПІН 2.2.4-171-10 [6]	НД на метод дослідження	Результати дослідження				
			Початкові дані води	УФ опромінення без озонування (після 2-х днів та 4-х днів)		З озонуванням води через 1 та 2 дні після комплексної дії озону та УФ-випромінення	
Загальне мікробне число КУО/см ³ при 37°C	Не більше 100 КУО в 1 см ³	ГОСТ 18963-73 Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа	3	47	115 не відповідає	19	6
Загальні коліформи КУО/100см ³	Відсутні	Методичні вказівки МВ 10.2.1-113-2005. Санітарно-мікробіологічний контроль якості питної води, затверджені наказом МОЗ від 03.02.2005 № 60.	Не виявлено	860 не відповідає	2600 не відповідає	1200 не відповідає	Не виявлено
Ентерококи КУО/100см ³	Відсутні	МУ по санитарно-микробиологическому анализу воды поверхностных водоемов, затверджені наказом МЗ СССР від 19.01.81 № 2285-81	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено

Продовження табл.2

E.coli КУО/100см ³	Відсутні	Методичні вказівки МВ 10.2.1-113-2005. Санітарно-мікробіологічний контроль якості питної води, затверджені наказом МОЗ від 03.02.2005 № 60.	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
----------------------------------	----------	---	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Бактеріологічними дослідженнями води в басейні встановлено, що ультрафіолетове знезараження без озонування не забезпечує вимог [6] по загальному мікробіологічному числу КУО/см³. При додатковому озонуванні КУО не перевищує 20 КУО/см³. Додаткове озонування (з дозою 0,1 г/м³) при використанні УФ-технології знезараження води може забезпечити необхідну бактеріологічну чистоту води в басейнах невеликих об'ємів.

Висновки

1. Розроблена установка для комплексного знезараження води в басейнах шляхом УФ-опромінення та з використанням озону, що утворюється розрядними лампами низького тиску цієї установки.

2. Продуктивність УФ-установки при дозі опромінення 25 Дж/м² становить 8 м³ води за годину. Продуктивність установки по озону складає 0,8 г/год., що забезпечує дозу озонування 0,1 г/м³.

3. Для басейну об'ємом води 75 м³ бактеріологічна чистота води забезпечується двома установками з сумарною продуктивністю циркуляції 16 м³ на годину. При цьому концентрація озону в воді, що подається в басейн після опромінення, не перевищує 0,015 мг/л.

Література

1. DIN 19643-1. Химическая подготовка воды для плавательных и купальных бассейнов. Часть 1: Общие требования [Текст].
2. DIN 19643-2. Подготовка воды для плавательных и купальных бассейнов. Ч. 2. Комбинация методов: адсорбция, коагуляция, фильтрация, хлорирование [Текст].
3. DIN 19643-3. Подготовка воды для плавательных и купальных бассейнов. Ч. 3. Комбинация методов: коагуляция, фильтрация, озонирование, сорбционная фильтрация, хлорирование [Текст].
4. СанПиН 2.1.2.568-96. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды плавательных бассейнов. Санитарные правила и нормы. [Текст]
5. Асоціація басейнів і СПА України. Громадські правила організації водопідготовки в плавальних і купальних басейнах всіх типів і призначення [Текст]. – Київ. – 2018. – С. 10.
6. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: державні санітарні норми та правила ДСанПиН 2.2.4-171-10 [Текст]: наказ МОЗ України

ни від 12.05.2010р. №400 // Офіційний вісник України. – 2010. – №51. – С. 100-121.

7. Семенов, А. А. Качество питьевой воды и методы обеззараживания [Текст] / А. А. Семенов, Л. В. Дугнист // Развитие бухгалтерского учета, анализа и аудита в условиях международной экономической интеграции: теория, методология, методики : сб. науч. статей международной научно-практической конференции (г. Гомель, 15–16 октября). – БТЭУПК. – Ч. 2. – 2015. – С. 148–155.
8. Шаляпин, С. Н. Применение комбинированных методов обеззараживания воды в плавательных бассейнах [Текст] / С. Н. Шаляпин, Ю. И. Штонда, Т. С. Шаляпина // Водоснабжение и водоотведение. – 2013. – № 4/13. – С. 49–53.
9. СанПиН 2.1.2.1188-03. Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества. [Текст]
10. Петухова, Е.О. Методы обеззараживания воды в плавательном бассейне [Текст] / Е. О. Петухова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8. – № 2. – С. 36–51.
11. Тихонова, Н. А. Сравнительный анализ методов обеззараживания воды в бассейне [Текст] / Н. А. Тихонова, О. И. Ручкина // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. – 2013. – №4. – С. 155–165.
12. Cassan, D., Mercier, B., Castex, F., & Rambaud, A. (2006). Effects of medium-pressure UV lamps radiation on water quality in a chlorinated indoor swimming pool. *Chemosphere*, 62, 9, 1507-1513.
13. ShihChi, Weng, Jing, Li, Ernest, & Blatchley, R., III. (2012). Effects of UV₂₅₄ irradiation on residual chlorine and DBPs in chlorination of model organic-N precursors in swimming pools. *Water research*, 46, 2674-2682.
14. Семенов, А. О. Знезараження води комбінованими методами – УФ-випромінювання в поєднанні з іншими технологіями [Текст] / А.О. Семенов, Г.М. Кожушко, Т.В. Сахно // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2016. – № 3/3 (29). – С. 67–71.
15. Жарков, А. В. Особенности применения технологий очистки обеззараживания воды в бассейнах [Текст] / А. В. Жарков // Сантехника. – 2013. – № 1. – С. 10–54.
16. Волков, С. В. Технологические аспекты обеззараживания воды УФ-излучением [Текст] / С. В. Волков, С. В. Костюченко, А. В. Красночуб, А. В. Якименко и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 2. – С. 20–25.
17. Zyara, A. M., Torvinen, E., Veijalainen, A. M., Helvi, H. T. (2016). The Effect of UV and Combined Chlorine/UV Treatment on Coliphages in Drinking Water Disinfection. *Water*, 8(4), 130.
18. Баренбойм, Г. М. Побочные продукты дезинфекции воды плавательных бассейнов: содержание веществ,

оценка их опасности и пути эффективного удаления [Текст] / Г. М. Баренбойм, К. И. Добровольская, С. В. Изюмов, А. С. Сафонова и др. // Вода: химия и экология. – 2012. – № 12. – С. 3–14.

19. Rice, Ed. R. G. (1984). Handbook of ozone technology and application. Vol.2. Ozone for drinking treatment, Netzer. Boston etc.: Ann. Arbor Science Publ, 378.

20. Рахманин, Ю. А. Совместное применение активного хлора и коагулянтов для очистки и обеззараживания питьевой воды [Текст] / Ю. А. Рахманин, З. И. Жолдакова, Е. Е. Полякова и др. // Гигиена и санитария. – 2004. – № 1. – С. 6–9.

21. Semenov, A. A., Kozhushko, G. M., & Sakhno, T. V. (2016). Device for germicidal disinfection of drinking water by using ultraviolet radiation. *Herald of Karagand. University. Series "Physics"*, 1 (81), 77–80.

22. Semenov, A. (2018, May 18–22). Device for disinfection of water by using ultraviolet radiation. 8-th International Conference Physics of Liquid Matter: Modern Problems (PLMMP 2018), Kyiv, 1–20.P.

23. Вассерман, А. Л. Ультрафиолетовое излучение в профилактике инфекционных заболеваний [Текст] / А. Л. Вассерман, М. Г. Шандала, В. Г. Юзбашев. – М.: Медицина, 2003. – 208 с.

24. Рохлин, Н. Г. Разрядные источники света. [Текст] / Н. Г. Рохлин – М.: Энергоиздат, 1991. – 720 с.

25. Ultraviolet sterilizing lamp Electronic resource. Product catalog. Retrieved from: http://en.jsfeiyang.com/products_list/&pmcId=2cc9ebef-8446-4b44-bcc2-e9562bf23460.html.

26. Джерела ультрафіолетового випромінювання: методика виконання вимірювань параметрів ультрафіолетового випромінювання. МВУ 11-038-2007 [Текст] / ННЦ «Інститут метрології». – Харків, 2007. – 33 с.

27. Семенов, А. О. Ультрафіолетове знезараження води [Текст] / А. О. Семенов, Г. М. Кожушко, І. В. Шурдук // Збірник наукових праць донецького національного університету ім. Михайла Туган-Барановського «Товарознавство та інновації» – Донецьк, 2011. – Вип. 3. – С. 154–160.

References

1. DIN 19643-1. Chemical preparation of water for swimming and bathing pools. Part 1: General Requirements

2. DIN 19643-2. Preparation of water for swimming and swimming pools. Part 2. A combination of methods: adsorption, coagulation, filtration, chlorination.

3. DIN 19643-3. Preparation of water for swimming and swimming pools. Part 3. Combination of methods: coagulation, filtration, ozonation, sorption filtration, chlorination.

4. SanPiN 2.1.2.568-96. Hygienic requirements for the device, operation and water quality of swimming pools. Sanitary rules and regulations.

5. Association of Swimming Pools and Spa of Ukraine (2018). Community rules for the organization of water treatment in swimming and swimming pools of all types and purposes, Kiev, 10.

6. DsanPin 2.2.4-171-10. (2010). Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption: state sanitary norms and rules: Order of the Ministry of Health of Ukraine dated May 12, 400. Official Bulletin of Ukraine. 51, 100–121.

7. Semenov, A. A. & Dugnist, L. V. (2015). The quality of drinking water and methods of disinfection. *Development of account-*

ing, analysis and audit in the context of international economic integration: theory, methodology, methods: collection of articles. scientific articles of the international scientific-practical conference (Gomel, October 15–16). BTEUPK, 2, 148–155.

8. Shalyapin, S. N., Shtonda Yu. I., & Shalyapina T. S. (2013). The use of combined water disinfection methods in swimming pools. *Water supply and water disposal*, 4/13, 49–53.

9. SanPiN 2.1.2.1188-03. (2003). Swimming pools. Hygienic requirements for the device, operation and water quality. Quality control.

10. Petukhova, E. O. (2017). Methods of water disinfection in a swimming pool. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture*, 8, 2, 36–51.

11. Tikhonova, N. A., & Ruchkinova, O. I. (2013). Comparative analysis of the methods of water disinfection in the basin. *PNRTU Bulletin. Urbanism*, 4, 155–165.

12. Cassan, D., Mercier, B., Castex, F., & Rambaud, A. (2006). Effects of medium-pressure UV lamps radiation on water quality in a chlorinated indoor swimming pool. *Chemosphere*, 62, 9, 1507–1513.

13. ShihChi, Weng, Jing, Li, Ernest, & Blatchley, R., III. (2012). Effects of UV₂₅₄ irradiation on residual chlorine and DBPs in chlorination of model organic-N precursors in swimming pools. *Water research*, 46, 2674–2682.

14. Semenov, A. O., Kozhushko, G. M., & Sakhno T. V. (2016). Disinfection of water by combined methods - UV radiation in combination with other technologies. *Technological audit and production reserves*, 3/3 (29), 67–71.

15. Zharkov, A. V. (2013). Features of the use of water purification technologies in pools. *Sanitary Engineering*, 1, 10–54.

16. Volkov, S. V., Kostyuchenko, S. V., Krasnochub, A. V., Yakimenko A. V. etc. (2001). Technological aspects of water disinfection by UV radiation. *Water supply and sanitary engineering*, 2, 20–25.

17. Zyara, A. M., Torvinen, E., Veijalainen, A. M., Helvi, H. T. (2016). The Effect of UV and Combined Chlorine/UV Treatment on Coliphages in Drinking Water Disinfection. *Water*, 8(4), 130.

18. Barenboim, G. M., Dobrovolskaya, K. I., Izyumov, S. V., Safonov A. S. etc. (2012). By-products of swimming pool water disinfection: the content of substances, the assessment of their danger and ways of effective removal. *Water: chemistry and ecology*, 12, 3–14.

19. Rice, Ed. R. G. (1984). Handbook of ozone technology and application. Vol.2. Ozone for drinking treatment, Netzer. Boston etc.: Ann. Arbor Science Publ, 378.

20. Rakhmanin, Yu. A., Zholdakova, Z. I., Polyakova, E. E., etc. (2004). Combined use of active chlorine and coagulants for purifying and disinfecting drinking water. *Hygiene and Sanitation*, 1, 6–9.

21. Semenov, A. A., Kozhushko, G. M., & Sakhno, T. V. (2016). Device for germicidal disinfection of drinking water by using ultraviolet radiation. *Herald of Karagand. University. Series "Physics"*, 1 (81), 77–80.

22. Semenov, A. (2018, May 18–22). Device for disinfection of water by using ultraviolet radiation. 8-th International Conference Physics of Liquid Matter: Modern Problems (PLMMP 2018), Kyiv, 1–20.P.

23. Wasserman, A. L., Shandala, M. G., & Yuzbashev, V. G. (2003). Ultraviolet radiation in the prevention of infectious diseases. *Medicine*, 208.

24. Rokhlin, N. G. (1991). Discharge sources of light. *Energizdat*, 720.
25. Ultraviolet sterilizing lamp Electronic resource. Product catalog. Retrieved from: http://en.jsfeiyang.com/products_list/&pmcId=2cc9ebef-8446-4b44-bcc2-e9562bf23460.html.
26. Sources of ultraviolet radiation: method of measuring parameters of ultraviolet radiation. IDD 11-038-2007. NSC «Institute of Metrology». Kharkiv, 33.
27. Semenov, A. O., Kozhushko, G. M., & Shurduk, I. V. (2011). Ultraviolet disinfection of water. *Collection of scientific works of Donetsk National University named after. Mikhail Tugan-Baranovsky «Commodity Studies and Innovations»*, Donetsk, 3, 154-160.

Рецензент: д-р техн. наук проф. С.В. Гаркуша, Полтавський університет економіки і торгівлі, Україна

Автор: СЕМЕНОВ Анатолій Олексійович
кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри
Полтавський університет економіки і торгівлі
E-mail – asemen2015@gmail.com
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-3112-1942>

Автор: КОЖУШКО Григорій Мефодійович
доктор технічних наук, професор, професор кафедри
Полтавський університет економіки і торгівлі
E-mail – kgm46@rambler.ru
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7306-4529>

Автор: САХНО Тамара Вікторівна
доктор хімічних наук, професор, професор кафедри
Полтавський університет економіки і торгівлі
E-mail – sakhno2001@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7049-4657>

BACTERICIDAL DISORDERS OF WATER IN BASES OF COMPLEX ACTION OF OZONE AND UV-RADIATION

A. Semenov, G. Kozhushko, T. Sakhno

Poltava University of Economics and Trade, Ukraine

In this work an analysis of the results of research on bactericidal decontamination of water in the basins with the use of various technologies has been carried out. The benefits of using ultraviolet radiation and ozone are shown. Ultraviolet does not create side-effects of disinfection. Influence of ultraviolet radiation on viruses is much stronger than in the case of use. The peculiarity of ozone is the ease of its decay with the formation of atomic oxygen - one of the strongest oxidants. Atomic oxygen destroys bacteria, spores, viruses, destroys organic substances dissolved in water. This allows the use of ozone not only for decontamination, but also for the removal of toxic organic substances. The task was to create a bactericidal disinfection device in the pool using ultraviolet lamps and ozone, which is formed by short-wave radiation of these lamps. The article describes the design of the developed installation and the results of its testing in a pool of 75 m³. The installation is a cylindrical chamber with an internal diameter of 90 mm and a length of 950 mm, in which the ultraviolet lamp in the quartz cover is located along the chassis axis. The diameter of the lamp is 19 mm, the diameter of the cover is 30 mm, the thickness of the wall is 1.2 mm. With such a design, through the water layer circulating through the chamber, almost all the ultraviolet flow passes. Ozone formed in the air space between the lamp and the walls of the quartz cover, is fed into the water using an ejector. The thickness of the water layer under ultraviolet irradiation with a dose of 25 J/m² is 30 mm. The amount of ozone formed in the air, which circulates through a quartz cover, provides additional ozonation of water at a dose of 0.1 g/m³. The residual concentration of ozone entering the pool with disinfected water does not exceed 0.015 g/m³. Bacteriological studies of water in the basin have established that ultraviolet decontamination without ozonation does not meet the requirements of DIN 19643-1 according to the general microbiological number of CFU/cm³. At additional ozonation, the CFU does not exceed 20 CFU/cm³. With constant water circulation, two ultraviolet disinfection units with a capacity of 8 m³/h and an additional dose of 0.1 g/m³ of ozone in a pool of 75 m³ provide normative bacteriological parameters.

Keywords: ultraviolet radiation, ozone, bactericidal decontamination, water, swimming pool.